

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/002244

International filing date: 03 March 2005 (03.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 010 952.4  
Filing date: 03 March 2004 (03.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 10 May 2005 (10.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

EPO 5/2244

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 010 952.4

**Anmeldetag:** 03. März 2004

**Anmelder/Inhaber:** Deutsches Krebsforschungszentrum,  
69120 Heidelberg/DE

**Bezeichnung:** Inkrementelle, Echtzeitregistrierung von getrackten  
Instrumenten in röhrenförmigen Organstrukturen in-  
nerhalb des menschlichen Körpers

**IPC:** A 61 B, A 61 N, A 61 F

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 19. April 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

  
Agurko

## Inkrementelle, Echtzeitregistrierung von getrackten Instrumenten in röhrenförmigen Organstrukturen innerhalb des menschlichen Körpers

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur objektiveren und genaueren Navigation bei medizinischen, diagnostischen und therapeutischen Eingriffen an nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen.

Bisher werden bei medizinischen, diagnostischen und therapeutischen Eingriffen an nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen, wie z.B. Blutgefäßen, Bronchien des menschlichen Körpers, bildgebende Verfahren, wie z.B. strahlungsintensive Durchleuchtungen, verwendet, die stets eine Strahlenbelastung für den Patienten bzw. den behandelnden Arzt darstellen.

Erste Ansätze zur Navigation von getrackten Instrumenten, wie z.B. Katheter oder Bronchoskope, in nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen, reichen hinsichtlich ihrer Genauigkeit nicht aus, um diese radiologischen, bildgebenden Verfahren während des Eingriffs zu ersetzen.

Dabei werden bisher bei der Navigation in nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen, z.B. bei der navigierten Bronchoskopie, lediglich externe bzw. wenige interne künstliche oder anatomische Landmarken verwendet, um ein getracktes Instrument, wie z.B. Katheter, Bronchoskop, mit medizinischen Bilddaten zu registrieren. Dabei wird das Skelett einer röhrenförmigen Organstruktur nicht zur Registrierung bei Katheter bzw. Bronchoskopie Anwendungen verwendet.

Aufgrund von atmungsbedingten Bewegungen innerhalb des Thorax und des Abdomens kommt es zu großen Organverschiebungen bzw. Deformationen der betroffenen Regionen. Registrierungspunkte auf dem Patienten bzw. wenige Landmarken innerhalb des Bronchus oder eines Blutgefäßes genügen nicht, um eine schritthaltende Registrierung des getrackten Katheters bzw. Bronchoskops mit zuvor aufgenommenen Computertomographie (CT-) oder Magnetresonanztomographie (MRT-) Bilddaten des Patienten zu gewährleisten. Beispielsweise treten bei der Bronchoskopie Registrierungsfehler auf, die eine sichere bildgestützte Gewebeentnahme (Biopsie) oder intra-Bronchiale Bestrahlung erschweren bzw. das Risiko für den Patienten erhöhen.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Navigation bereitzustellen, mit dem eine Echtzeit-fähige Registrierung in röhrenförmigen Organstrukturen des menschlichen Körpers deutlich verbessert werden kann.

Als Lösung schlägt die Erfindung vor, aus den prä-interventionellen drei oder höher dimensional Bilddaten (CT, MRT) zunächst die röhrenförmigen Strukturen zu segmentieren und anschließend mittels bekannter Skelettierungsverfahren in eine Graphendarstellung zu überführen. Dabei repräsentiert die Mittellinie der röhrenförmigen Organstruktur die Kante des Graphen.

Während der Intervention (z.B. Biopsien oder Bestrahlung in der Lunge) wird zunächst eine Grobregistrierung des Patienten durch interne und externe Landmarken des Patienten durchgeführt.

Die Position des Instruments, wie z.B. Katheter in Gefäßen oder Bronchoskop bei der Bronchoskopie, wird während der Intervention durch ein Trackingsystem räumlich

bestimmt. Nach der Grobregistrierung wird der Weg dieses getrackten Instruments, relativ zu den externen oder ggf. internen Markern, in der röhrenförmigen Struktur verfolgt. Die Lage des Instruments wird durch eine Transformationsvorschrift auf das Skelett (Modell) der röhrenförmigen Organstruktur projiziert. Bei Kurven und Verzweigungen der röhrenförmigen Organstruktur kann das Modell sukzessive durch eine nicht rigide Transformation verändert werden, so dass die Position des Katheters stets innerhalb der röhrenförmigen Organstruktur zu liegen kommt. Während des Verschiebens bestimmt eine Kostenfunktion den wahrscheinlichsten Modellabschnitt, an dem sich das Instrument befindet. Die beispielsweise atmungsbedingten Verschiebungen der röhrenförmigen Organstruktur führen zur räumlichen Bewegung des Instruments. Die zur Ausdehnung der röhrenförmigen Organstruktur orthogonalen Komponenten werden dabei zur Korrektur des Modells verwendet.

Damit wird es möglich, röhrenförmige Organstrukturen zur Echtzeit im Bereich des Instrumentes sehr exakt zu registrieren. Die Registrierung erfolgt dabei sukzessive entlang des Weges des Instruments.

Das Verfahren ist vergleichbar der lokalen Positionskorrektur in GPS-gestützten Kraftfahrzeugen, die über die Richtung und Entfernung, d.h. Geschwindigkeit und Zeit, einen Vergleich mit der elektronischen Landkarte durchführen und die Kreuzungen bzw. Kurven zur Positionskorrektur verwenden. Im bildhaften Vergleich wird bei der Navigation in röhrenförmigen Organstrukturen darüber hinaus die „Landkarte“, d.h. das Skelett bzw. Modell der röhrenförmigen Organstruktur, bei der orthogonalen Bewegung zur Straßenrichtung die Landkarte verzerrt.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung liegt darin, dass die Position des getrackten Instrumentes sukzessive mit dem Verlauf der röhrenförmigen Organstruktur verglichen wird und somit sowohl das Modell angepasst wird als auch die Lage des Instrumentes in Bezug zur Struktur (Registrierung) erschlossen wird.

Der Vorteil der Erfindung liegt in der deutlich erhöhten Genauigkeit der Registrierung bei röhrenförmigen Organstrukturen, die auch bei Bewegungen der Organstruktur gewährleistet werden kann.

Die deutliche Verbesserung der Registrierungsgenauigkeit in Gefäßen und Bronchien verbessert bestehende Navigationsverfahren und eröffnet neue Applikationen. Somit können strahlungsintensive Durchleuchtungen (Angiographie), die den Patienten und den behandelnden Arzt belasten, reduziert werden. Darüber hinaus kann eine verbesserte Genauigkeit bei der Platzierung von Gefäß-Stents oder der Platzierung von Herzschrittmacher-Elektroden erzielt werden.

Auf der Patientenoberfläche werden zwei oder mehr Tracker eines Trackingssystems angebracht. Der Mediziner führt die räumlich getrackte Bronchoskopspitze in die Trachea ein. Mittels der Bronchoskopie-Kamera wird die Lage des Bronchoskops mit der Position in den Bilddaten vom Arzt verglichen und interaktiv zugeordnet. Anschließend wird die Position der Bronchoskopspitze zum Bronchialbaum nach dem oben beschriebenen Verfahren korrigiert. So kann beispielsweise von einer in den präoperativen Bilddaten identifizierten Läsion, zielgenau eine Biopsie entnommen werden. Ein weiterer Anwendungsfall für die onkologische

Bronchoskopie betrifft die Positionierung von Bestrahlungs sonden innerhalb eines Bronchus.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Navigation bei medizinischen Eingriffen an röhrenförmigen Organstrukturen besteht darin, dass vor dem Eingriff statische Bilddaten der röhrenförmigen Organstrukturen aufgenommen und gespeichert werden. Aus diesen Bilddaten wird die röhrenförmigen Organstrukturen extrahiert und deren Verlauf in eine geometrische Beschreibung überführt. Diese wird während des medizinischen Eingriffs zur Instrumenten-Organregistrierung verwendet, indem das durch ein Trackingsystem räumlich lokalisierte Instrument erfasst wird. Dies geschieht unter Einbeziehung der geometrischen Beschreibung und Informationen über die bisherige von dem Instrument zurückgelegte Wegstrecke. Die zu bestimmende Transformation, die vorzugsweise durch ein Optimierungsverfahren bestimmt wird, wird relativ zu den statischen Daten sukzessive korrigiert. Es versteht sich, dass auch umgekehrt die statischen Daten relativ zu der Instrumentenposition sukzessive korrigiert werden kann. Somit wird die Position des Instruments den anatomischen Strukturen in den statischen Bilddaten zugeordnet.

Insbesondere kann die Information über die Wegstrecke die kontinuierlich Aufzeichnung der räumlichen Position des Instrumentes darstellen.

Vorzugsweise wird als räumliche Position des Instrumentes nur die Instrumentenspitze erfasst.

Es versteht sich, dass die räumliche Position des Instrumentes auch durch mehrere Positionen oder eine unendlich große Zahl von Positionen, und damit kontinuierlich, entlang des Instruments erfasst werden kann.

Die Information über die Wegstrecke kann weitere Merkmale enthalten, insbesondere Verzweigungen und Durchmesser der röhrenförmigen Organstrukturen, die während des Vorschiebens des Instruments erfasst werden.

Das Verfahren zur Navigation, und dabei insbesondere das Verfahren der Transformation, kann die statischen Bilddaten verformen, so dass die anatomischen Strukturen in den statischen Bilddaten mit den anatomischen Strukturen des Patienten an der Instrumentenposition übereinstimmen.

Aus der sich zeitlich ändernden Position des Instruments kann, insbesondere bei zyklischer Bewegungen, wie z.B. die Atembewegungen, die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur berechnet werden. Hierbei kann insbesondere aus den Komponenten der Bewegung des Instrumentes, die orthogonal zu der röhrenförmigen Organstruktur sind die Bewegung errechnet werden.

Bei der Bestimmung der Transformation wird die berechnete Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur einbezogen.

Es versteht sich, dass durch das Anbringen externer oder interner Marker die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur näherungsweise erfasst und in die Berechnung der Transformation einbezogen werden kann.

Es versteht sich weiterhin, dass die Transformation über die Wegstrecke sukzessiv gelernt werden kann.

Dabei stellt die geometrische Beschreibung die Zentrallinien und/oder die Verzweigungen und/oder die Oberfläche der röhrenförmigen Organstruktur dar.

### *Beispiel*

#### Navigierte Bronchoskopie:

Vor dem Eingriff wird ein Skelett-Modell des Bronchialbaumes auf die oben beschriebene Art und Weise erstellt und der Weg zur Zielregion identifiziert.

Auf der Patientenoberfläche werden dann zwei oder mehr räumlich erfassbare Objekte (Tracker) eines Trackingssystems angebracht. Der Mediziner führt die räumlich getrackte Bronchoskopiespitze in die Trachea ein. Mittels der Bronchoskopie-Kamera wird die Lage des Bronchoskops mit der Position in den Bilddaten vom Arzt verglichen und interaktiv zugeordnet. Anschließend wird die Position der Bronchoskopiespitze zum Bronchialbaum nach dem oben beschriebenen Verfahren korrigiert. So kann beispielsweise von einer in den präoperativen Bilddaten identifizierten Läsion zielgenau eine Biopsie entnommen werden.

Ein weiterer Anwendungsfall für die onkologische Bronchoskopie betrifft die Positionierung von Bestrahlungssonden innerhalb eines Bronchus.

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zur Navigation bei medizinischen Eingriffen an röhrenförmigen Organstrukturen, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Eingriff statische Bilddaten der röhrenförmigen Organstrukturen aufgenommen und gespeichert werden, dass aus den Bilddaten die röhrenförmigen Organstrukturen extrahiert wird und deren Verlauf in eine geometrische Beschreibung überführt wird, die während der medizinischen Intervention zur Instrumenten-Organregistrierung verwendet wird, indem die durch ein Trackingsystem räumlich lokalisierte Instrument unter Einbeziehung der geometrischen Beschreibung und Informationen über die bisherige von dem Instrument zurückgelegte Wegstrecke durch eine Transformation, die vorzugsweise durch ein Optimierungsverfahren bestimmt wird, relativ zu den statischen Daten sukzessive korrigiert wird oder umgekehrt die statischen Daten relativ zu der Instrumentenposition sukzessive korrigiert werden, und somit die Position des Instruments den anatomischen Strukturen in den statischen Bilddaten zugeordnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Information über die Wegstrecke die kontinuierlich aufgezeichnete räumliche Position des Instrumentes darstellt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als räumliche Position des Instrumentes nur die Instrumentenspitze erfasst wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als räumliche Position des Instrumentes mehrere Positionen entlang des Instruments erfasst werden.
5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die räumliche Position des Instrumentes kontinuierlich entlang des Instruments erfasst wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Information über die Wegstrecke weitere Merkmale, die insbesondere Verzweigungen der röhrenförmigen Organstrukturen oder deren Durchmesser darstellen können, enthält, die während des Vorschiebens des Instruments erfasst werden.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation die statischen Bilddaten verformt.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus der sich zeitlich ändernden Position des Instruments die zyklischen Bewegungen, die insbesondere Atembewegungen darstellen können, der röhrenförmigen Organstruktur berechnet werden.
9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur aus den Komponenten der Bewegung des Instrumentes, die orthogonal zu der röhrenförmigen Organstruktur sind, errechnet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation die berechneten Bewegungen der röhrenförmigen Organstruktur einbeziehen.
11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass durch Anbringen externer oder interner Marker die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur erfasst und in die Berechnung der Transformation einbezogen wird.
12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation über die Wegstrecke sukzessive gelernt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die geometrische Beschreibung die Zentrallinien der röhrenförmigen Organstruktur darstellt.
14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die geometrische Beschreibung die Verzweigungen der röhrenförmigen Organstruktur darstellt.
15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die geometrische Beschreibung die Oberfläche der röhrenförmigen Organstruktur darstellt.
16. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 bei bronchoskopischen Eingriffen.
17. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 als Ersatz für angiographische Bildgebung bei Katheterinterventionen.
18. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 bei der Implantation von Herzschrittmachern.
19. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 zur Positionierung von Sonden.
20. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 zur Positionierung von Ablationselektroden.
21. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 zur Positionierung von Stents in Gefäßen und Bronchien.